

基于 K-L 变换和灰度共生矩阵下的 桂西—滇东南地质构造遥感信息提取方法研究

徐丽华 朱恺军 陈永刚 王 凉

(浙江林学院环境科技学院, 浙江 临安 311300)

摘要:桂西—滇东南是植被高覆盖区域,地质遥感信息相对于地表覆盖(植被)信息而言相对较弱。有效消除地表覆盖信息、突出地质遥感信息是遥感地质专题信息提取的瓶颈之一。本文运用 K-L 变换提取代表地质构造信息的成分波段,有效滤去地表覆盖信息;利用灰度共生矩阵、定向检测和环形滤波检测相结合的方法,并通过阈值设置,提取地质构造的遥感专题信息,从而达到实现计算机自动提取地质构造信息的目的。经过野外实地验证,结果表明:地质构造信息提取精度较高,特别是一些小的地质构造信息也能有效提取;但是环形地质构造信息没有有效提取,地表覆盖类型对地质构造信息的提取仍有较小影响。

关键词:K-L 变换;灰度共生矩阵;定向检测;地质构造;遥感

中图分类号:P627 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)05-1179-08

图像的纹理信息是图像灰度在空间上的变化和重复,或图像中反复出现的局部模式(纹理单元)和它们的排列规则^[1]。不同的地质构造在遥感影像上会表现出不同的纹理结构。随着遥感技术(遥感数据和遥感图像处理方法)的日益发展与进步,遥感技术成为获取地质构造信息的最为有效的方法之一。但是大陆造山带由于其漫长的地质演化、历史复杂多样的地壳物质组成和结构构造面貌,成为大陆地质和大陆动力学解剖研究的关键地区,其结构构造的复杂性也成为客观进行地质研究的难点^[2]。尽管可以根据遥感影像本身的光谱差异、水系特征等结合研究者的先验知识进行目视解译^[3],或者进行各种遥感图像处理方法(如几何分形法、小波处理法、滤波等),可以有效地提取图像纹理信息,再根据地学相关信息,最终可以获取研究区的地质构造信息。但

是就遥感数据本身所反映的信息而言,应是下垫面物体的反射率高低的空间组合。对于植被覆盖高的区域,植被类型本身就有着纹理信息,这对于地质构造解译而言就是干扰噪声。而 K-L 变换和灰度共生矩阵能很好的解决这个问题。

K-L 变化又称主成分变换(Primary Component Analysis, PCA),是应用最多的特征压缩和特征选择的较经典的方法之一^[4]。K-L 变换把原来多个波段中的有用信息尽量集中到数目尽可能少的新的组分图像中,影像的空间特征发生变化,从而可能获得含有地质信息的成分。灰度共生矩阵可描述影像各像元灰度的空间分布和结构特征,众多学者利用影像纹理特征值所表征的图像空间结构信息来改善遥感图像的地学目标分类效果^[5-7]。本文则通过 K-L 变换和灰度共生矩阵来解决因为植被类型对地质构造

收稿日期:2008-10-31;改回日期:2009-04-13

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目“桂西—滇东南大型锰矿勘查技术与评价”遥感专题“遥感技术在桂西南—滇东大型锰矿找矿中的应用研究”(2451012017)资助。

作者简介:徐丽华,女,1977年生,博士,副教授,从事遥感方面的科研与教学工作;E-mail: xulh99g@163.com。

解译产生的干扰噪声。

1 区域概况

研究区位于广西西南部至云南省东部,北界云南宣威—广南、广西巴马一线,南至中越边界,东抵广西平果县—隆安一带,西至云南开远—蒙自,覆盖了桂西南锰矿集中区和滇东锰矿集中区,其地理坐标范围:东经 102°50′~107°30′,北纬 22°40′~26°30′,涉及区域面积约 40000 km²。

该区地质构造复杂。桂西南研究区地处广西南部,位于滨太平洋构造域与古特提斯—喜马拉雅构造域交汇部位附近,早古生代属于扬子准地台与华南地槽的过渡区。总体上沉积建造和地质构造均较为复杂(图 1)。右江再生地槽区构造复杂,褶皱、断裂发育,主要为印支运动所形成。加里东运动所形成的基底褶皱构造,出露范围很小,仅在少数背斜核部见到,其形态多不完整。构造线以北西向为主,次为东西向、北东向和南北向。

滇东南研究区地处云南东南部,大地构造上属华南褶皱系滇东南褶皱带。自前古生代以来,在漫长的地质历史时期内,经历了多期构造变动。由于测区处于青、藏、滇、缅巨型反“S”型构造体系中,区域构造极其复杂。其中弧形构造有季里寨弧形构造、鲁都克弧形构造(图 2)。本区断裂从走向上可分为北东—东西向弧形断裂,北西向断裂,东西向断裂,北东向断裂 4 组。

从图上可见,研究区的地质构造主要是线性构造和环形构造。本文也正是从两个方面分别进行解译。

2 研究方法及技术路线

2.1 数据预处理

本次研究解译地质构造使用的是 1973—1974 年间的 MSS 影像,成像时间均在 11 月、12 月和 1 月。此期间的研究区植被覆盖与 2006 年相比较低,有利于解译地质构造。研究区共涉及 17 幅 MSS 遥感影像。所有影像质量较好,无云等干扰信息。

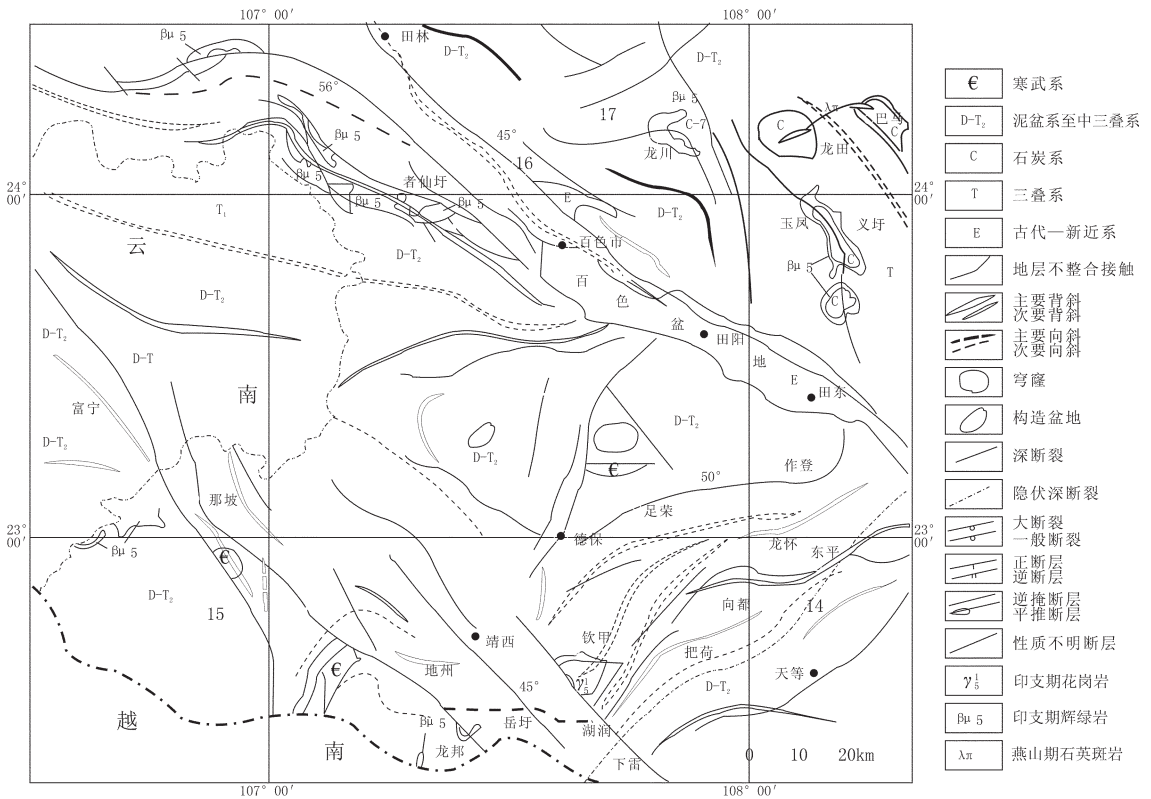


图 1 桂西南构造纲要图

Fig.1 Structural outline map of southwestern Guangxi

①资料来源:四川冶金地质勘查院提供。

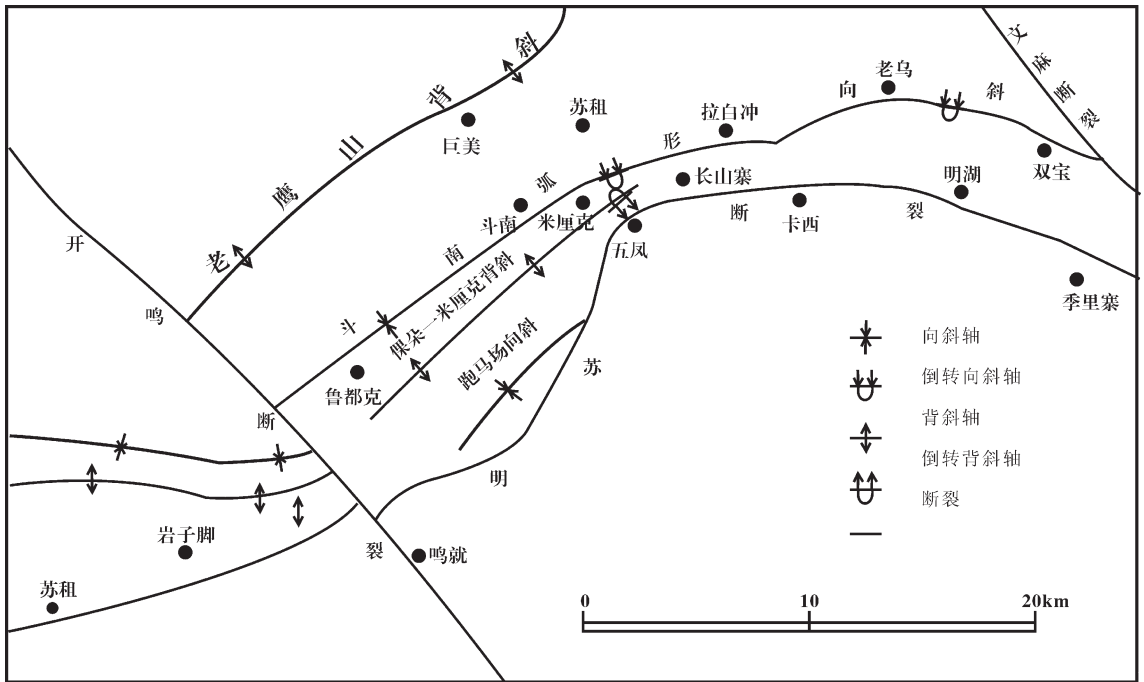


图 2 岩子脚—老乌地区构造纲要图
Fig.2 Structural outline map of Yanzijiao-Laowu area

由于是进行宏观的地质构造解译,因此在几何纠正方面,则是依据数据下载后本身自带的 UTM 坐标,转为横轴墨卡托坐标和 GEO-WGS84 经纬坐标。在进行坐标转换的过程中,利用二次多项式进行数据重采样。横轴墨卡托坐标系下的像元大小为 79 m, GEO-WGS84 坐标系下的像元大小为 0.0071818189 度。由于数据均是在冬季,水汽相对较少,而且研究区基本上没有工业区,大气污染较少,只有大气本底干扰,因此未作大气校正的数据预处理。

2.2 基于 K-L 变换的图像信息分离

K-L 变换是在统计特征基础上的多维 (多波段) 正交线性变换,多波段图像通过这种变换后产生出一组新的组分图像。主成分分析则是利用一个特征向量算子作用于输入图像,将图像中的方差信息进行重新分配,根据其不同主成分浓缩信息的侧重不同,通过对特征向量载荷的判别分析,从某一个或几个主成分中得到特征信息,其基础是输入图像的相关性。不仅能够对图像信息进行归并处理,使数据量得到有效压缩,而且还能够使新的组分图像之间互不相关,即各个组分包含的信息不重叠^[8,9]。

MSS 影像共 4 个波段,在 ENVI4.1 软件平台上,对其进行 K-L 变换。以其中一幅遥感影像(轨道

号:P135R44,成像时间为 1973 年 11 月 25 日)为例,计算得到波段之间的相关性(表 1)。

表 1 P135R44 景 MSS 遥感影像相关系数
Table 1 Correlative coefficients of the MSS image from the area of 135th Path and 44th Row

	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Band 1	1	0.963013	0.923697	0.880649
Band 2	0.963013	1	0.880639	0.819013
Band 3	0.923697	0.880639	1	0.987994
Band 4	0.880649	0.819013	0.987994	1

从中可以看出,该景 MSS 影像各个波段之间相关性较好,其相关系数均在 0.8 以上。因此若是直接利用 MSS 影像波段,则会出现图像中主要信息的冗余是地表目标信息。经过 K-L 变换后,4 个主成分的特征值分别为:[800.7,41.3,4.2,1.3]。对各个主成分进行目视判读发现,植被和阴影信息主要集中在第一和第三主成分,第四主成分则信息量较低,基本上为噪声,对地质构造解译意义不大。第二主组分图像由于植被、阴影、噪声等主要干扰信息被分离,线性构造和环形构造(包括河流水系、山体、河谷界限、

岩脉)显示清楚,有利于地质构造解译。

2.3 灰度共生矩阵计算

灰度共生矩阵法是一种常用的纹理分析方法,是图像中两个像素灰度级联合分布的统计形式,能较好地反映纹理灰度级相关性的规律。

灰度共生矩阵被定义为:设图像某一区域有 N 个灰度值,则对应该区域的灰度共生矩阵为一个 $N \times N$ 阶的矩阵;元素点 (i, j) 的值表示了在一定大小的窗口中一个像素的灰度值为 i ,另一个像素的灰度值为 j ,并且相邻距离为 d ,方向为 α 的这样两个像素出现的频率。在实际的应用中,作为纹理识别的特征量是由上述的灰度共生矩阵计算出来的一些统计量^[9]。Barald 认为,对于遥感图像来说 4 种统计量效果最好^[9]:角二阶距、熵、同质区和非相似性。其中非相似性又称惯性矩特征值,它将图像灰度的空间分布差异显著拉开,实用效果最佳。其计算公式为:

$$(DIS) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |i-j| \cdot P_{\delta}(i, j) \quad (1)$$

对于灰度变化较简单的图像, $P_{\delta}(i, j)$ 的数值集中于矩阵对角线附近,因此 $(i-j)$ 的值较小,相应的惯性矩特征值也较小;相反,对于复杂图像,惯性矩特征值较大。惯性矩特征值能够反映图像灰度复杂度的特性,应用于图像边缘检测算法。可以在不同的尺度下,寻找最佳的算子参数,精确地检测出图像边缘。

这里的 $P_{\delta}(i, j)$ 是灰度共生矩阵中位置 (i, j) 处的元素的归一化值,也即是概率。一般情况下,对位移量的选取通常有 4 个方向: 0° 方向角、 45° 方向角、 90° 方向角和 135° 方向角^[10](分别代表地理方向位置的东向西、东北-西南向、南北向、西北-东南向)。距离选取的有 1 像素距离、2 像素距离等,本文中的实验选择的都是 1 像素距离,即中心像元同与之直接相邻的像元做运算和比较。灰度共生矩阵的计算,均是基于 ENVI 的 IDL 语言进行模块开发完成。图 3~5 分别是桂西南靖西—大新区域 MSS 原始影像、K-L 变换后的第二主成分、灰度共生矩阵(135° 方向角)计算结果。

从图 3、4、5 对比可见,原始的 MSS 影像主要突出的是植被地表物体信息,图 4 显示的 K-L 变换后的第二主成分影像中植被和阴影等地表物体主要信息被弱化,而地质构造信息被加强,即能够更为清晰的反映地质构造信息的水体界限、山谷(或河谷)界限、不同地物类型的色调差异等。图 5 显示的是经过灰度共生矩阵影像,具有较好的凸显纹理信息效果。与图 4 相比,除了对比度较为显著的纹理信息加强外,在图 4 中较为不明显的纹理信息亦加强突出显示。

灰度共生矩阵计算后的结果有利于进行纹理信息提取。但是仅仅只是提高解译的精度而已,不能直接进行纹理信息的提取,还需要进行其他图像解译分析方法进行地质构造解译。

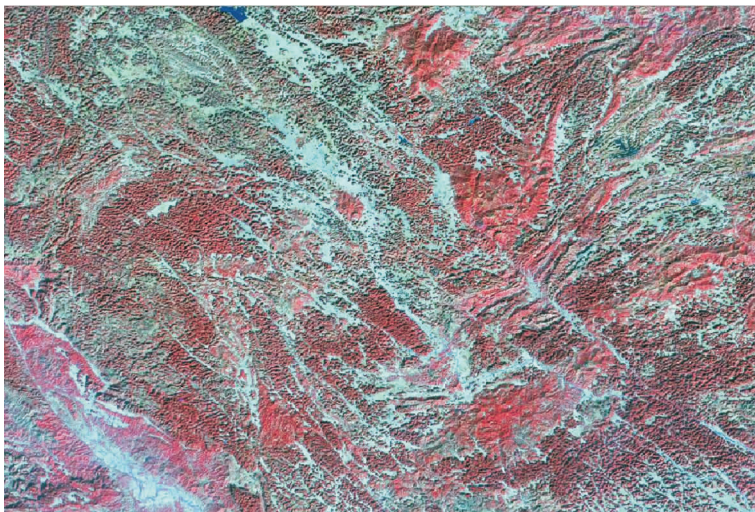


图 3 MSS 影像(421 组合)

Fig.3 MSS Image combining the fourth, second and first bands (red, green and blue)

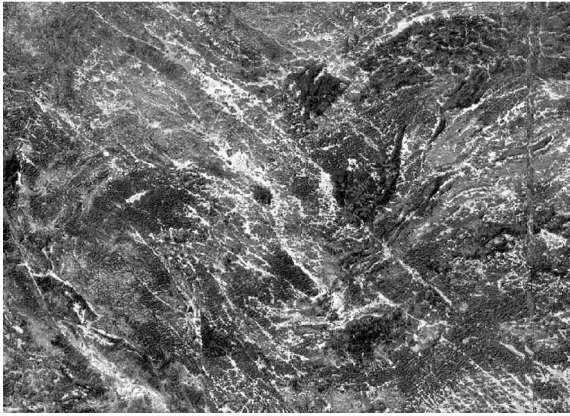


图 4 K-L 变换后的第二主成分影像
Fig.4 Second PCA image after K-L transform

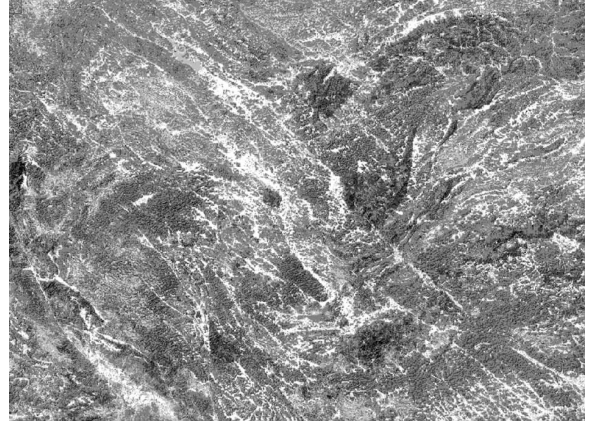


图 5 灰度共生矩阵影像(135°方向角)
Fig.5 Image of gray level co-occurrence matrix (direction angle 135°)

2.4 纹理分析

研究取的地质构造有环形地质构造和线性地质构造,因此应分别针对线性地质构造和环形地质构造进行解译。

2.4.1 线性构造解译

灰度共生矩阵已进行了 4 个方向的非相似性特征值计算,灰度共生矩阵计算出来的表示 4 个特征值的影像已经能较好地表现 4 个方向的线性构造。经多次试验,为了加强 4 个方向的纹理特征,有利于更加准确地分析出研究区的,本次研究还针对各个方向的灰度共生矩阵影像分别进行高通滤波算子定向检测计算。即 0°方向的灰度共生矩阵影像用 0°方向的高通算子进行检测,其他方向的定向检测依次类推。公式(2)~(5)为 4 个方向高通滤波的卷积算子。

$$M_{0^\circ} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M_{45^\circ} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$M_{90^\circ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M_{135^\circ} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

这样经过两重窗口计算,使得在 4 个方向的线性构造纹理特征得到进一步加强。

2.4.2 环形构造解译

进行环形构造特征(盆地、地块隆起、坳陷构造等)解译,不仅与线性地质构造解译使用的算子不同,而且运用卷积滤波进行形态检测的影像不能利用前文灰度共生矩阵法得到的 4 个方向特征影像结果,而是应该利用 K-L 运算后的第二主成分影像进行环形特征信息的提取。其卷积滤波算子:

$$M_{\text{环形卷积算子}} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

经过此卷积滤波算子后,解译出的研究区环状构造特征一般是有较好纹理特征的区域,而一些在纹理特征不能很好表现出来的盆地环状特征则不能较好地利用图像处理的方法解译出来。

2.4.3 地质构造特征信息的提取

根据地质构造信息增强处理的结果,通过选择特定阈值,直接提取表示地质构造信息的栅格,然后以提取的栅格中心为点,进行栅格矢量化,得到矢量线形——地质构造线。

3 地质构造解译结果与野外验证

利用上述方法在植被覆盖度高的桂西—滇东南区域进行地质构造解译,最终得到的地质构造解译结果如图 6 所示。

从图 6 可见,通过计算机自动解译的遥感地质构造解译图只能进行线性构造线的解译,对于地质构造中的断裂构造方向等地质构造信息则无法解译出来,这是计算机自动解译的缺陷。但是该方法能较

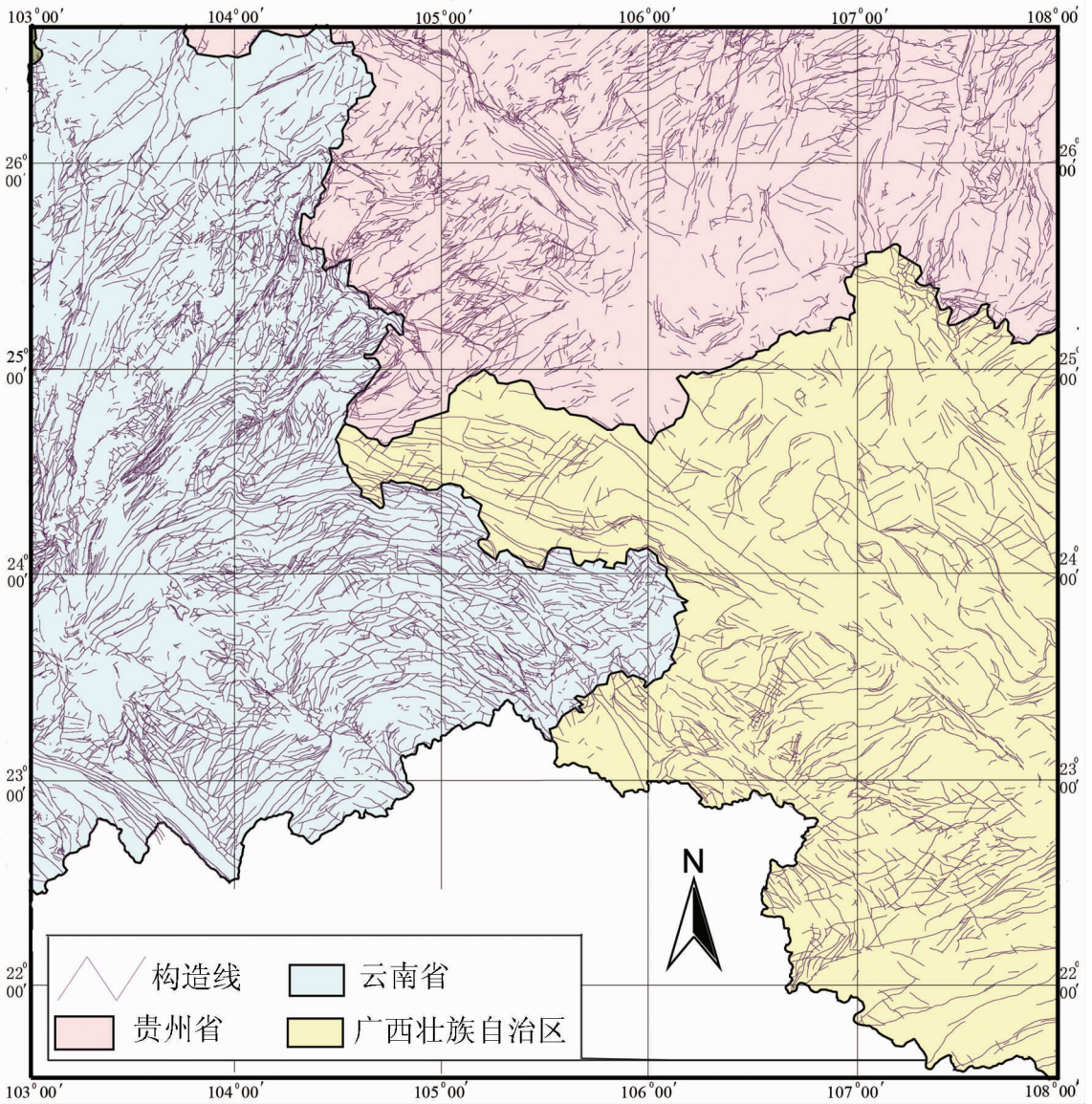


图 6 桂西—滇东南地质构造遥感解译图

Fig.6 Interpretation map of geological structure based on remote sensing in western Guangxi-southeastern Yunnan area

为准确的提取一些小的地质构造线，经野外实地和相关资料相结合进行检验，笔者研究解译的地质线性构造结果精确度可达 80%左右。在大的线性构造区域基本上准确地得到解译，并有效地提取线性地质构造信息。而环形地质构造的特征信息没有解译结果，经野外实地调研，也未发现非常明显的环形构造特征；小的线性地质构造存在着较小的解译误差——地面覆盖地物边界线对其影响较小。

4 结论与不足

利用 K-L 变换、灰度共生矩阵和特征信息阈值提取，不仅有效的进行数据的降维处理，提高运算速度减少存储容量，而且还有有效的提高了解译精度。地质构造遥感解译精度较高，特别是有些小的线性地质构造信息均能较好的解译出，但是也存在一定的误差，主要是受地表覆盖物差异的影响；但是环形线性

构造信息在本次研究中未能有较好的解译结果。

在今后的研究工作中,将继续通过改变模型参数和阈值设置,提高解译精度;寻找更加有效的图像增强处理方法去除地表覆盖物类型信息,增强地质构造遥感信息。

参考文献 (Reference):

- [1] 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京:科学出版社,1992
Xu Jianhua. Interpreting and Analysing for Images [M]. Beijing: Science Press, 1992(in Chinese).
- [2] 陆关祥,周鼎武,王居里,等. 复杂结构构造区遥感图像的地质信息提取方法—基于小波变换的多层次图像分割[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(1):50-54.
Lu Guanxiang, Zhou Dingwu, Wang Juli, et al. Geological information extracting from remote sensing image in complex Area: based on wavelet analysis for automatic image Segmentation [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(1): 50-54(in Chinese with English abstract).
- [3] 郑文俊,郭华,袁道阳,等. 遥感影像信息在活动断裂研究中的应用[J]. 高原地震, 2002,14(2):15-21
Zheng Wenjun, Guo Hua, Yuan Daoyang, et al. Application of remote sensing image information in the research of active faults [J]. Earthquake Research in Plateau, 2002, 14 (2):15-21 (in Chinese with English abstract).
- [4] Loughlin W P. Principal component analysis for alteration mapping. Proceedings of the Eighth Thematic Conference on Geological Remote Sensing. Denver, Colorado. 1991:295-306.
- [5] 薛重生,王霞. 基于分形几何的遥感图像纹理分析方法及应用[J]. 地质科技情报, 1997, 16(增刊):99-105.
Xue Chongsheng, Wang Xia. Methodology and application of remote sensing image texture analysis based on fractal geometry [J]. Geological Science and Technology Information, 1997, 16 (Sup.) : 99-105(in Chinese).
- [6] 毕于慧. 彩色航空图像森林纹理特征提取方法的研究[D]. 北京:北京林业大学博士学位论文, 2007.
Bi Yuhui. Study on the Extraction Methods of Forest Texture Character for Color Aerial Images [D]. Beijing:Beijing Forest University Ph. D Paper, 2007.
- [7] 彭光雄,李京,何宇华,等. 利用纹理分析方法提取 CBERS02 星 CCD 图像土地覆盖信息[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(1):8-13.
Peng Guangxiong, Li Jing, He Yuhua, et al. Extracting land cover information from CBERS-2's CCD image using texture analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, 22(1):8-13.
- [8] 刘永昌,张平,严卫东,等. 基于 K-L 变换的 TM 图像变化信息提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2004, (4):69-71
Liu Yongchang, Zhang Ping, Yan Weidong, et al. Variety Information pick-up based on K-L transform of TM image [J]. Computer Engineering and Application, 2004, (4):69-71.
- [9] 张晋开,崔承禹,支毅乔. 基于主成分分析的植被掩模与模式滤波方法在中等植被区蚀变信息提取中的应用 [J]. 中国图象图形学报,1996, 1(2)):108-114
Zhang Jinkai, Cui Chengyu, Zhi Yiqiao. A new method for alteration extraction in mid-vegetated areas using TM data combined technique of vegetation masking and mode filtering (CTVM M F) based on principal component analysis (PCA) [J]. China Journal of Image and Graphics, 1996, 1 (2):108-114 (in Chinese with English abstract).
- [10] Baraldi A, Parmingian F. An investigation on the texture characteristics associated with gray level co-occurrence matrix statistical parameters [J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 32(2):293-303.
- [11] 田艳琴,郭平,卢汉清. 基于灰度共生矩阵的多波段遥感图像纹理特征的提取[J]. 计算机科学, 2004, 31(12):162-163, 195.
Tian Yanqin, Guo Ping, Lu Hanqing. Texture feature extraction of multiband remote sensing image based on gray level co-occurrence matrix [J]. Computer Science, 2004, 31 (12):162-163, 195 (in Chinese with English abstract).
- [12] 龚炜,石青云,等. 数字空间中的数学形态学—理论及应用[M]. 北京:科学出版社, 1997.
Gong Wei, Shi Qingyun, et al. Mathematics Morphology in the Numeric Space——Theory and Application [M]. Beijing: Science Press, 1997(in Chinese).

The extraction of geological structure information from RS data in western Guangxi-southeastern Yunnan area based on K-L and gray level co-occurrence matrix

XU Li-hua, ZHU Kai-jun, CHEN Yong-gang, WANG Liang

(School of Environmental Sciences and Technology, Zhejiang Forest University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The western Guangxi-southeastern Yunnan area is covered with thick vegetation, and hence the extraction of geological structure information from RS images meets with difficulty in that the land cover types constitute the major information in RS images. Land cover types must be removed in extracting geological structure information. In this paper, the components of geological information extracted by the K-L method were used for effective elimination of the land cover information. Geological structure information was extracted by using gray level co-occurrence matrix and directional detection. Field inspection reveals that the precision of the results can be evaluated. The results show that the precision of extracting the geological information, especially the precision of extracting small structure information, is fairly high. Nevertheless, the circular structure information cannot be effectively extracted, and the land cover still affects the results to some extent.

Key words: K-L; gray level co-occurrence matrix; directional detection; geological structure; RS

About the first author: XU Li-hua, female, born in 1977, doctor, associate professor, mainly engages in mining remote sensing study and teaching; E-mail: xulh99g@163.com.